Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 680-690

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 690-680

بررسی اثرتعداد لایه‌ها و غلظت‌های مختف پوشش‌های خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان بر کارایی فرایند خشک کردن اسمزی سیب زرد لبنانی

سیده الهام ساداتی گل‌افشانی[1]- سید مهدی جعفری[2*]- سید مهدی کاشانی‌نژاد[3]- شهرام بیرقی طوسی[4]- محمد گنجه[5]

تاریخ دریافت: 1394/01/26
تاریخ پذیرش: 1394/09/25

چکیده

در طی فرایند آبگیری اسمز، مواد جامد محلول توسط بافت ماده غذایی جذب شده و اثرات نامطلوبی بر خروج آب، خصوصیات تغذیه‌ای و حسی می‌گذارد. لذا برای بهبود فرایند اسمز از پوشش‌های خوراکی استفاده می‌شود. بهترین شاخص برای ارزیابی یک پوشش، کارایی فرایند (نسبت خروج آب به جذب مواد جامد) است. در این پژوهش از دو پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد، به‌صورت یک‌لایه و دو لایه، جهت پوشش‌دهی قطعات مکعبی سیب زرد لبنانی و محلول اسمزی ساکارز با غلظت 30، 45 و 60 % استفاده شد. نتایج نشان داد که نمونه یک بار پوشش داده شده با کاراگینان 1% و تیمار شده در ساکارز 60 % و نمونه‌های یک و دو لایه پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز 0/5% بیشترین میزان کارایی فرایند را داشته‌اند و به‌عنوان تیمارهای برگزیده به‌دست آمدند. این نمونه‌ها میزان جذب مواد جامد را کاهش داده و تاثیر قابل توجهی بر روی خروج آب نگذاشته‌اند. همچنین نتایج بیان‌گر این موضوع است که با افزایش غلظت محلول اسمزی ساکارز از 30 به 60% میزان حذف آب و جذب مواد جامد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌های خوراکی ، جذب مواد جامد، سیب زرد لبنانی، کارایی فرایند آبگیری اسمزی

مقدمه

استفاده از هوای داغ، روش مرسومی جهت خشک کردن مواد غذایی است هرچند اثرات سویی از جمله تغییر رنگ، سفتی بافت و کاهش کیفیت بر محصول نهایی می‌گذارد. پیش تیمار فرایند اسمز قبل از خشک کردن با هوای گرم باعث بهبود کیفیت و حفظ مواد مغذی موجود در فرآورده شده و میزان نیاز به انرژی حرارتی جهت حذف آب محصول را کاهش می‌دهد. از طرفی با به‌کارگیری محلول‌های اسمزی، از واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی تا حد قابل ملاحظه‌ای جلوگیری شده و امکان حذف مواد شیمیایی نگهدارنده به ویژه ترکیبات گوگردی افزایش خواهد یافت (Khin *et al.*, 2005).

آبگیری اسمزی عبارت است از خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی یا حیوانی به‌وسیله تماس مستقیم با یک محلول غلیظ مناسب مانند محلول قندها، نمک‌ها یا مخلوطی از نمک و قند. در این فرایند، با قرار دادن قطعات مواد غذایی نظیر میوه‌ها و سبزی ها در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول‌های ماده غذایی به‌عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل کرده و به علت وجود اختلاف غلظت بین محلول اسمزی (دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتر) و مایعات داخل سلولی، نیروی محرکه لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می‌شود (Lenart *et al.*, 1999). انتقال ماده حل شده از محلول به داخل محصول، خصوصیات تغذیه‌ای و حسی محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

فرآیند اسمز به دلیل حفظ پایداری، ایجاد کیفیت بالا، اصلاح خصوصیات کاربردی وکاهش مصرف انرژی، علاقه محققین را در طی سال‌های اخیر، بیش از پیش به خود جلب کرده است. جذب مواد جامد محلول اسمزی توسط بافت ماده غذایی، ترکیب (نسبت قند به اسید) و طعم محصول نهایی را تغییر می‌دهد و در اثر ایجاد لایه‌ای بر روی سطح محصول، گرادیان فشار اسمزی بین محصول و محیط اسمزی را به هم‌زده و نیروی محرکه لازم برای جریان آب را کاهش می‌دهد. علاوه بر تاثیر منفی آن بر روی سرعت خروج آب، جذب مواد جامد به دلیل بستن لایه‌های سطح محصول، مقاومت اضافی را برا ی

1، 2، 3 و 5- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار، استاد و دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
4- عضو هیئت علمی، گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد.
(* - نویسنده مسئول (Email: smjafari@gau.ac.ir
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.45890

انتقال جرم ایجاد کرده و سرعت آبگیری را از این طریق نیز کم می‌کند (Lazarides *et al*., 2007). همچنین این امر بر روی خصوصیات تغذیه‌ای نمونه تاثیر منفی می‌گذارد. به‌علاوه چالش‌های مدیریت محلول‌های اسمزی و مسئله دفع و یا بازیافت و استفاده‌های مجدد از این محلول‌ها از دیگر مشکلات پیش‌روی صنعتی شدن این فرایند است.

بر اساس دلایل مذکور، استفاده از این فرایند در سطح صنعتی و تجاری محدود شده است. اهمیت ویژه جذب مواد جامد با توجه به اختلال در خروج آب و خصوصیات کیفی محصول نهایی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است و موضوع مهم در فرایند آبگیری اسمزی، کاهش و کنترل جذب مواد جامد محلول می باشد. برخی مطالعات نشان داده است که بسیاری از پوشش‌های خوراکی موجب جذب کمتر مواد جامد می‌شوند و تاثیر منفی مهمی بر روی خروج آب نمی‌گذارند (Lazarides *et al*., 2007). در این رابطه از محلول‌های آبی نشاسته سیب‌زمینی، پکتین، آلژینات سدیم، کیتوزان، اتیل سلولز، کربوکسی‌متیل‌سلولز و مالتودکسترین به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده استفاده شده است (Matuskaet *et al*., 2006; Khin *et al*., 2007; Dehghannya *et al*., 2006; Garcia *et al*., 2010; Khin *et al*., 2006).

Matuska و همکاران (2006) برای کنترل جذب مواد جامد در حین آبگیری اسمزی توت‌فرنگی از پوشش‌های خوراکی استفاده کردند. فرایند اسمزی در دمای 30 و 50 درجه سانتی‌گراد با محلول ساکارز 61/5% به‌همراه همزدن مداوم به مدت 180 دقیقه انجام شد. سدیم آلژینات و کاراگینان 0/5% و 1% و مخلوط 0/5% کاراگینان و گوار با نسبت 1 به 1 به‌عنوان پوشش‌دهنده توت‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت. طبق یافته‌های آن‌ها بیشترین درصد حذف آب مربوط به نمونه‌ای است که دو بار با سدیم آلژینات 0/5درصد پوشش داده شده و دلیل این امر این است که این تیمار کمترین مقدار جذب مواد جامد را داشته است و عدم وجود لایه ساکارز بر روی نمونه موجب تسریع خروج آب می‌شود. تمام نمونه‌های پوشش داده شده دارای مقدار جذب مواد جامد کمتری نسبت به نمونه شاهد (حدود 50% کمتر) بودند. و کمترین آن مربوط به سدیم آلژینات 0/5% با کاهش حدود 43/5% بود. بهترین معیار برای انتخاب نوع پوشش مناسب پارامتر کارایی فرایند[1] (Pr) است که نسبت درصد حذف آب به جذب مواد جامد بوده و نشان‌دهنده راندمان خروج آب با حداقل جذب مواد جامد می‌باشد. در بین تیمارها، نمونه کنترل دارای کمترین مقدار کارایی فرایند و بیشترین آن مربوط به سدیم آلژینات 0/5% با 123% افزایش، بوده است. بنا به نظر آن‌ها تاثیر پوشش بستگی به ترکیب و نحوه استفاده از آن دارد. هر پوشش بایستی به‌طور جداگانه تست شود و ترکیبات آن شناسایی و شرایط ومحدودیت‌های آن تعیین گردد (Matuska *et al*., 2006).

Silva و همکاران (2012) از فرایند اسمزی به مدت 12 ساعت و در دمای 27 درجه سلسیوس و با نسبت‌های 1به 4، 1 به 10 و 1 به 15 محلول اسمزی به میوه جهت آبگیری گیلاس استفاده کردند. حذف آب, جذب مواد جامد و افت وزن در طی فرایند آبگیری افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت محلول اسمزی به میوه این افزایش بیشتر خواهد بود. Garcia و همکاران (2010) از فرایند اسمزی برای فرایند آبگیری عنبه استفاده کردند و نتایج حاکی از افزایش کارایی فرایند اسمزی با استفاده از پوشش کیتوزان بود به شکلی که به‌طور معناداری میزان حذف آب افزایش و جذب مواد جامد کاهش یافت. Jalaee و همکاران (2010) نیز به کاهش معنادار جذب مواد جامد با استفاده از پوشش‌های خوراکی در خشک کردن اسمزی اشاره کرده‌اند. Farzaneh و همکاران (2011) قطعات سیب (بدون پوشش و پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز) را با محلول اسمزی 50 درصد شکر فرایند اسمزی نموده و سپس با استفاده از خشک‌کن انجمادی،خشک‌کن تحت خلا و خشک کردن با هوا خشک کردن تکمیلی را انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که با استفاده از پوشش‌های خوراکی قبل از خشک کردن اسمزی میزان خصوصیات حسی، نسب آبدهی، تغییرات رنگ و دانسیته به‌طور معنا داری تحت تاثیر قرار گرفته و بهبود می‌یابد. Mundada و همکاران (2011) نیز کاهش مقاومت سطحی در برابر انتقال جرم در سطح محصول را از عوامل افت بیشتر میزان آب در دماهای بالاتر دانسته‌اند.

در این پژوهش از کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز نوع تجاری، که در صنعت غذا کاربرد زیادی دارند، جهت پوشش‌دهی استفاده شد. این دو نوع پوشش هر دو از گروه صمغ‌های خطی با بار منفی هستند که فیلم خوبی تشکیل می‌دهند (Nieto, 2009). از دیگر صمغ‌های این خانواده می‌توان به سدیم آلژینات، پکتین و ژلان اشاره کرد. گروه‌های آنیونی، قطبیت را افزایش داده و حلالیت در آب را زیاد می‌کنند. حلالیت در آب، بستگی به مقدار و توزیع شارژ در مولکول پلی‌مر دارد. وجود بار منفی به‌واسطه رانشی که ایجاد می‌کند پیوند درون مولکولی بین شاخه‌های پلی‌مر را کاهش می‌دهد و این باعث می‌شود که در حین خشک شدن، فیلم بسیار سختی ایجاد نشود. این خصوصیت اجازه می‌دهد که فیلم تشکیل شده در حین آبگیری به‌خوبی آب جذب کند. در این پژوهش علاوه بر بررسی پوشش‌دهی در طی فرایند اسمز و معرفی بهترین تیمار پوشش‌دهی برای دست‌یابی به شرایط مناسب خشک کردن اسمزی، تاثیر غلظت محلول‌های اسمزی و محلول‌های پوشش‌دهنده و همچنین تعداد لایه‌های پوشش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

---
1 Performance ratio

مواد وروش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش شامل سیب، ساکارز (با درجه خلوص 99/9%، تولید شرکت قند فریمان)، کاراگینان (نوع کاپا، تهیه شده از شرکت نگین خوراک پارس)، کربوکسی‌متیل‌سلولز (ساندروز، ژاپن) و کلریدکلسیم (تهیه شده از لابراتوار دکتر مجللی) بود. سیب زرد لبنانی (*Golden delicious*)، چیده شده از باغات شناسنامه‌دار ارومیه، از میادین میوه و تره‌بار مشهد خریداری شده و در دمای 6-4 درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید. در جدول 1 ویژگی‌های اولیه سیب مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.

جدول 1- ویژگی‌های اولیه نمونه سیب

فاکتور مورد نظر	میزان
رطوبت (درصد)	85/70±1/83
بریکس	15/76 ± 1/9
چگالی kg /m3	0/98 ±0/06
قند (درصد)	10/8 ± 0/47

محلول‌های اسمزی

محلول‌های اسمزی مورد استفاده در این پژوهش، محلول‌های ساکارز با درجه بریکس 30، 45 و 60 بود. محلول‌ها از انحلال مقدار معینی شکر با آب مقطر در دمای محیط تهیه شده و بریکس آن‌ها توسط دستگاه رفراکتومتر دستی (TYM، چین)، هر روز قبل از شروع آزمایش بررسی می‌شد.

محلول‌های پوشش

از دو پوشش کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد (وزنی- وزنی) به‌صورت یک لایه و دو لایه استفاده شد. محلول‌های کاراگینان پس از انحلال ماده پوشش در آب مقطر، به مدت 45 دقیقه بر روی هیتر 70 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و با مگنت هم‌زده شده و سپس با همین دما مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Matuska *et al*., 2006). محلول‌های کربوکسی‌متیل‌سلولز از انحلال ماده پوشش با آب مقطر، از قبل تهیه و درون بشر در یخچال نگهداری شده و هنگام استفاده، توسط حمام آب (Memmert WB 14, Germany) به دمای 60 درجه سانتی‌گراد می‌رسید.

محلول کلریدکلسیم

به‌منظور تثبیت پوشش بر روی نمونه‌های مکعبی سیب، از محلول کلریدکلسیم 2% (وزنی-وزنی) با دمای 25 درجه سانتی‌گراد استفاده شد (Matuska *et al*., 2006).

مرحله پوشش‌دهی

نمونه‌های مورد نیاز پس از جداسازی بر اساس رنگ و بافت ظاهری، 2 ساعت قبل از شروع آزمایش از سردخانه 4 درجه سانتی‌گراد خارج می‌شدند. سیب‌ها پس از شست‌وشو، ابتدا توسط کاتر مخصوص به خلال‌هایی با سطح مقطع 1سانتی‌متر مربع برش خورده وسپس، توسط یک تیغ به مکعب‌هایی با ابعاد 1 سانتی‌متر مکعب تبدیل شدند. قطعات مکعبی سیب به‌طور هم‌زمان به مدت 30 ثانیه درون محلول پوشش و پس از حدود 1 دقیقه آب چکه شدن محلول‌های اضافی، درون محلول کلرید کلسیم فرو برده شدند. پس از آب چکه شدن محلول کلریدکلسیم، نمونه‌ها جهت خشک شدن محلول پوشش، در آون 70 درجه سانتی‌گراد (Binder-110، آلمان) به مدت 10 دقیقه قرار گرفتند.

برای تهیه نمونه با پوشش 2 لایه، نمونه‌ها پس از 30 ثانیه فرو برده شدن در محلول پوشش و آب چکه شدن، به مدت 10 دقیقه در دمای اتاق درون یک فضای بسته (جهت جلوگیری از تبادل رطوبت با محیط اطراف) قرار گرفتند. سپس دوباره به مدت 30 ثانیه درون محلول پوشش قرار گرفته و بقیه مراحل فوق انجام شد (Matuska *et al*., 2006).

مرحله خشک کردن اسمزی

نمونه‌های پوشش داده شده پس از توزین با ترازو (متلر تولدو، سوئیس، دقت 0/001)، به‌طور ثابت، در دمای محیط(25 درجه سانتی‌گراد) درون محلول‌های ساکارز قرار گرفتند. به‌منظور تداوم گرادیان غلظت و فشار اسمزی نسبت وزنی نمونه به محلول اسمزی 1 به 10 در نظر گرفته شد. با توجه به کمتر بودن دانسیته سیب نسبت به محلول‌های اسمزی، قطعات مکعبی میوه مرتبا در سطح محلول غوطه‌ور شده و اغلب در معرض هوا قرار می‌گیرند. جهت اعمال غوطه‌وری کامل قطعات میوه از زوشی که در شکل 1 نشان داده شده است استفاده گردید.

به‌منظور بررسی سینتیک خشک کردن اسمزی و ترسیم منحنی‌های مربوطه، بخشی از نمونه‌ها در زمان‌های متوالی15 ،30، 60، 90، 150، 210 و 270 دقیقه، از محلول اسمزی خارج شده و پس از شست‌وشوی سطحی جهت حذف محلول‌های باقی‌مانده از روی نمونه و گرفتن آب سطحی آن توسط دستمال حوله‌ای، توزین شده و رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. برای تعیین مقدار رطوبت، مقدار مشخصی از نمونه توزین شده و در آون با دمای 70 درجه سانتی‌گراد، به مدت 24 ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. بعد از این مدت نمونه‌ها از آون خارج و پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین گردید (Jena *et al*., 2005).

با استفاده از مقادیر ثبت شده و بر اساس معادلات 1، 2 و 3، درصد جذب مواد جامد (SG) ، میزان درصد حذف آب (WL) و

کارایی فرایند (Pr) به‌ترتیب ذیل محاسبه شدند:

$$SG = \frac{(m\times s)-(m_0\times s_0)}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

$$WL = \frac{(m_0\times w_0)-(m\times w)}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

m_0= وزن نمونه قبل از اسمز (gr)

m= وزن بعد از اسمز (gr)

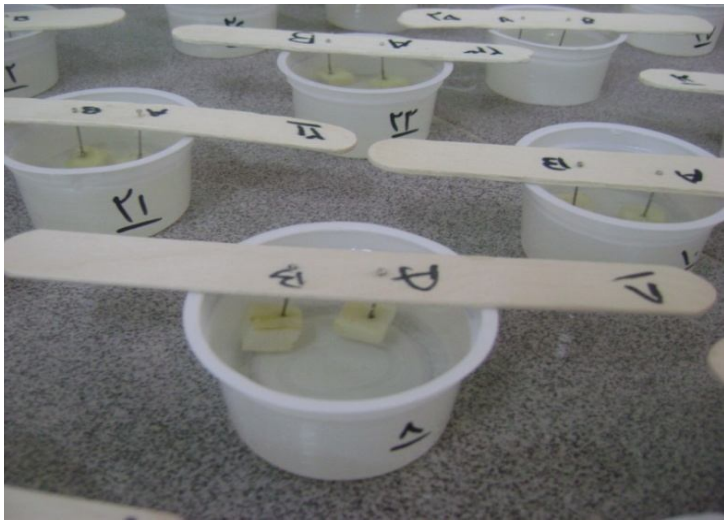
s_0=درصد ماده خشک نمونه قبل از اسمز

s= درصد ماده خشک نمونه بعد از اسمز

w_0= درصد رطوبت نمونه بر پایه مرطوب قبل از اسمز (گرم میوه/ گرم آب)

w= درصد رطوبت نمونه بر پایه مرطوب بعد از اسمز (گرم میوه/ گرم آب)

$$Pr = \frac{WL}{SG} \quad (3)$$



شکل 1- قرار گرفتن نمونه‌های پوشش داده شده درون محلول اسمزی

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و شیوه نمونه‌برداری

داده‌های حاصل، در قالب آزمایشات فاکتوریل، به‌صورت طرح کاملا تصادفی توسط نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. پس از تحلیل واریانس، میانگین‌های اثر نوع پوشش، تعداد لایه، غلظت پوشش و غلظت محلول اسمزی بر شاخص‌های فرایند آبگیری اسمزی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح α=0/05 توسط نرم‌افزار آماری MSTATC مورد مقایسه قرار گرفتند.

تمام آزمون‌ها در 3 تکرار انجام شده و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

تأثیرنوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر شاخص‌های فرآیند اسمز

در شکل 2 تاثیر نوع و تعداد پوشش‌ها و همچنین غلظت ماده پوشش‌دهنده آورده شده است. با توجه به این شکل میزان جذب مواد جامد در پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاراگینان است (P<0/05). کربوکسی‌متیل‌سلولز مورد استفاده در این تحقیق چون از نوع تجاری بوده و ویسکوزیته بالایی داشته است، باعث ایجاد چسبندگی شده و مولکول‌های ساکارز را به خود جذب کرده است، لیکن این امر برای پوشش کاراگینان کمتر بوده است. همان‌طور که Debeaufort و همکاران (1998) به این نکته اشاره کرده‌اندکه کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌عنوان پوشش می‌تواند به چسبندگی خمیر گوشت کمک کند و مقدار جذب روغن را طی سرخ کردن کاهش دهد. همچنین با توجه به شکل 2، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز، با افزایش تعداد لایه پوشش، درصد جذب مواد جامد در مواردی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<0/05). و در مواردی بین نمونه‌های پوشش داده شده به‌صورت یک لایه و دو لایه، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (p>0/05). کمترین مقدار درصد جذب مواد جامد، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان یک لایه و با غلظت پوشش 1 درصد (4/5%) به‌دست آمد.

دلیل این که با افزایش لایه، میزان جذب مواد جامد زیاد شده است می‌تواند ناشی از افزایش اندکی در قطر و درنتیجه افزایش سطح کل نمونه باشد, که این افزایش سطح, سطح در تماس با محلول اسمزی را افزایش داده و جذب مواد جامد تشدید می‌گردد. افزایش

مقدار مواد جامد در لایه مرزی، منجر به افزایش شیب غلظت شده و درنتیجه، نمونه‌ها آب بیشتری از دست داده‌اند. به عبارت دیگر، در حالت دولایه، به خاطر جذب مواد جامد بیشتر در لایه مرزی، فشار اسمزی افزایش یافته و نیروی محرکه لازم برای خروج آب بیشتر از محصول فراهم می‌شود.

مطابق شکل 2 مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول پوشش از 0/5 به 1/5 درصد، جذب مواد جامد در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان به‌ترتیب، به‌طور معنی‌داری افزایش و کاهش می‌یابد ($p<0/05$). به‌گونه‌ای که بیشترین درصد جذب مواد جامد مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با 1/5 درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز (8/9 درصد) و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با 1/5 درصد کاراگینان (4/5 درصد)است.

پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز با افزایش غلظت، محلول ویسکوزتری ایجاد کرده و لذا با افزایش ویسکوزیته، میزان چسبندگی و متعاقب آن مقدار جذب ساکارز محلول، افزایش یافته است و این پدیده منجر به ایجاد سد قوی‌تری در برابر خروج آب شده است. در پژوهش Lenart و همکاران (1999) نیز با افزایش غلظت محلول پکتین از 2 به 4%، میزان جذب مواد جامد افزایش یافته است.

با افزایش غلظت محلول کاراگینان علاوه بر کوچک شدن منافذ، لایه سخت‌تری بر روی نمونه‌های سیب ایجاد می‌شود که سدی در برابر انتقال مواد است. این موضوع، نفوذ ماده جامد به درون بافت و خروج آب از بافت سیب را کاهش داده است.



شکل2- اثر نوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های سیب اسمز شده

افزایش بیشتر مواد جامد می‌تواند منجر به کاهش درصد حذف آب شده و این پدیده به ایجاد سدی در برابر خروج آب منتهی می‌شود (Matuska *et al*., 2006). لذا همان طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز به دلیل جذب مواد جامد بیشتر، آب کمتری از دست داده‌اند.

به‌طورکلی با افزایش تعداد لایه پوشش، در اکثر موارد درصد حذف آب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p<0/05$). همچنین درصد حذف آب در نمونه‌هایی که به‌صورت یک لایه و دو لایه با کاراگینان پوشش داده شده‌اند به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز است ($p<0/05$). کمترین مقدار درصد حذف آب در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز یک لایه و با غلظت 1/5 درصد (9/47 %) و بیشترین مقدار آن، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان دو لایه و با غلظت 0/5 درصد (28/27%) به‌دست آمد. Matuska و همکاران (2006) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که پوشش دو لایه آلژینات سدیم نسبت به یک لایه می‌تواند منجر به افزایش درصد حذف آب شود.

همچنین همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول‌های پوششی کربوکسی‌متیل‌سلولز و کاراگینان، درصد حذف آب به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند ($p<0/05$). این امر می‌تواند به علت شبکه‌ای باشد که این دو هیدروکلوئید به‌عنوان پوشش خوراکی ایجاد می‌کنند. چون با افزایش غلظت، شبکه در هم پیچیده‌تری ایجاد می‌شود، منافذ کوچکتر شده و خروج آب کمتر شده است. به عبارت دیگر، با افزایش غلظت پوشش، تمایل جذب آب مولکول‌های هیدروکلوئید افزایش یافته، مسیر خروج آب مسدودتر و طولانی تر شده و خروج آن به سختی انجام می‌گیرد.

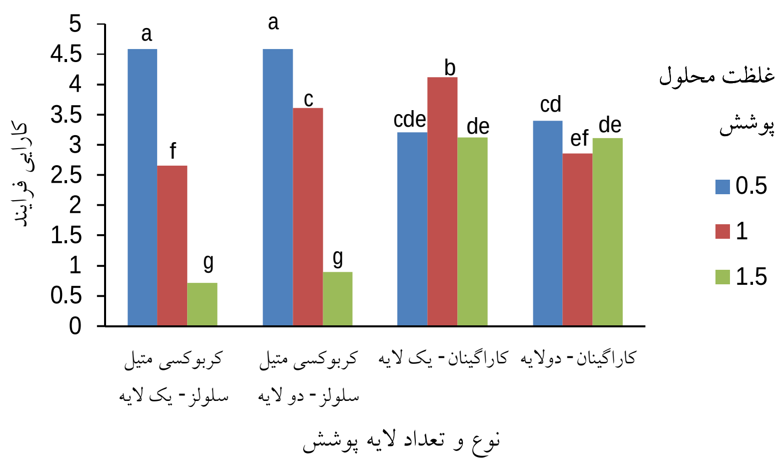
نتایج حاصل از تحلیل آماری نشان می‌دهد که کارایی فرایند در نمونه‌های دو بار پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز بیشتر از

نمونه یک بار پوشش داده شده است ولی در رابطه با کاراگینان این موضوع برعکس است. بیشترین مقدار کارایی فرایند در نمونه‌های یک و دو بار پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز (برابر 4/58) به‌دست آمد. نتایج کارایی فرایند در شکل 4 قابل مشاهده است.



شکل 3- اثر نوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر درصد حذف آب نمونه‌های سیب اسمز شده

همچنین شکل 4 اثر غلظت محلول پوششی بر کارایی فرایند دو نوع پوشش مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول پوشش از 0/5% به 1/5%، کارایی فرایند در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ($p<0/05$). به‌گونه‌ای که بیشترین و کمترین کارایی فرایند به‌ترتیب، مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز 0/5% و 1/5% برابر با 4/58 و 0/72 است. در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان، بیشترین کارایی فرایند مربوط به پوشش 1% و برابر 4/12 است.



شکل 4- اثر نوع، تعداد و غلظت لایه پوشش بر کارایی فرایند نمونه‌های سیب اسمز شده

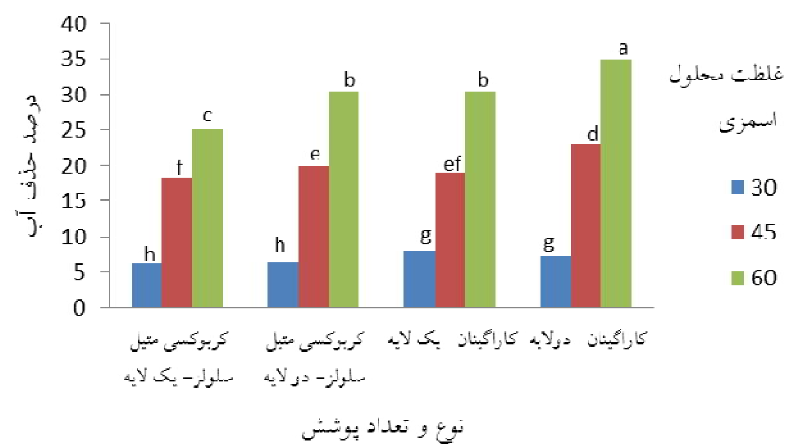
تاثیر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع و تعداد پوشش بر شاخص‌های فرآیند اسمز

با توجه به شکل 5 می‌توان مشاهده کرد که تمامی نمونه‌ها با افزایش غلظت محلول اسمزی، به‌طور معنی‌داری آب بیشتری در طی فرایند اسمز از دست می‌دهند ($p<0/05$). به‌طور کلی، میزان حذف آب در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان نسبت به کربوکسی‌متیل‌سلولز بطور معنی‌داری بیشتر می‌باشد ($p<0/05$).

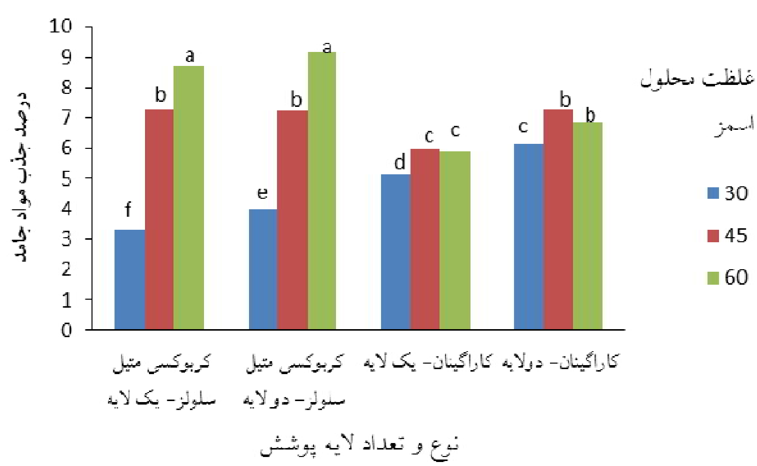
نتایج این پژوهش با نتایج Deghannya و همکاران (2006) و

Khin و همکاران (2006) مطابقت دارد. علت اینکه با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان آب بیشتری از نمونه‌ها خارج می‌شود این است که با افزایش غلظت محلول اسمزی، فشار اسمزی محلول غلیظ‌تر افزایش می‌یابد و در نتیجه، نیاز به جریان حجم بیشتری از آب و خروج بیشتر آن در جهت رسیدن به تعادل افزایش می یابد.

همان طور که در شکل 6 می توان مشاهده کرد، با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان جذب مواد جامد در تمامی تیمارهای کربوکسی متیل سلولز و با افزایش غلظت محلول اسمزی از 30 به 45 درصد در تیمارهای کاراگینان به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<0/05). در پایین ترین غلظت محلول اسمزی، میزان جذب مواد جامد در نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز، حداقل است ولی با افزایش غلظت محلول اسمزی، نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز مقدار مواد جامد بیشتری نسبت به نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان جذب می‌کنند. به‌طوری که بیشترین درصد جذب مواد جامد مربوط به نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز و تیمار شده در ساکارز 60 درصد، برابر با 9/16 درصد است. درصد جذب مواد جامد در نمونه های پوشش داده شده با کاراگینان در محدوده 5/13 تا 7/26 به‌دست آمد. با توجه به تحلیل‌های آماری، اختلاف معنی‌داری بین درصد جذب مواد جامد در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان تیمار شده در ساکارز 45 و 60 وجود ندارد (p>0/05).



شکل 5- اثر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع و تعداد پوشش بر درصد حذف آب نمونه‌های سیب اسمز شده



شکل 6- اثر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع و تعداد پوشش بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های سیب اسمز شده

با افزایش غلظت محلول اسمزی،گرادیان فشار اسمزی بین نمونه و محیط اسمزی که نیروی محرکه جهت انتقال مواد است، افزایش می‌یابد. لذا افزایش فشار اسمزی، انتخاب‌پذیری غشای سلول را کاهش می‌دهد. در نتیجه، ماده غذایی با مواد جامد محلول بیشتری روبرو شده و میزان جذب مواد جامد افزایش می‌یابد (Khin *et al.*, 2006). نتایج این پژوهش با نتایج محققانی همچون Khin و همکاران (2006) و Mandala و همکاران (2005) مطابقت دارد.

با توجه به تحلیل‌های آماری مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان کارایی فرایند، در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p<0/05$). بیشترین میزان کارایی فرایند در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز در غلظت محلول اسمزی 45 درجه بریکس (3/47 درصد) و در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان در غلظت محلول اسمزی 60 درجه بریکس (5/59 درصد) به‌دست آمد. به‌طور کلی، کارایی فرایند در نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان بیشتر است. نتایج را می‌توان در شکل 7 مشاهده کرد.



شکل 7- اثر غلظت محلول اسمزی (ساکارز) و نوع تعداد پوشش بر کارایی فرایند نمونه‌های سیب اسمز شده

مقایسه بین نمونه های پوشش‌دهی شده و نمونه‌های بدون پوشش (شاهد)

در بخش‌های قبل به بررسی تاثیر دو نوع پوشش کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز بر فرایند اسمز پرداختیم. با توجه به تحلیل‌های آماری مشاهده شد که در رابطه با کربوکسی‌متیل‌سلولز، نمونه‌های یک لایه با غلظت 0/5% و در رابطه با کاراگینان، نمونه‌های یک لایه با غلظت 1/5% کمترین میزان مواد جامد محلول را جذب کرده‌اند.

ولی همان‌طور که قبلا نیز گفته شد، پوششی می‌تواند در فرایند اسمز کارآمد باشد که علاوه بر کاهش میزان جذب مواد جامد، باعث کاهش خروج آب از بافت محصول نشود. به همین دلیل از شاخص کارایی فرایند استفاده می‌شود. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده در این پژوهش، بیشترین کارایی فرایند در بین نمونه‌های پوشش داده شده، مربوط به نمونه‌های یک و دو لایه پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز در محلول ساکارز 45% و نمونه‌های یک لایه پوشش داده شده با کاراگینان 1% در محلول ساکارز 60% است. بنابراین، این تیمارها به‌عنوان تیمارهای برتر و منتخب معرفی می‌شود. اگر بخواهیم مقایسه‌ای بین نمونه های پوشش‌دهی شده و شاهد داشته باشیم، با توجه به جدول 2 می‌بینیم که به‌طور کلی، درصد جذب مواد جامد نمونه‌های منتخب پوشش داده شده، کمتر و درصد حذف آب و کارایی فرایند آن‌ها بیشتر از نمونه‌های شاهد (بدون پوشش) است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول پوشش خوراکی از 0/5 به 1/5%، درصد حذف آب کاهش یافته و با افزایش غلظت محلول اسمزی از 30 درجه بریکس به 60 و افزایش تعداد لایه پوششی، درصد حذف آب افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان نسبت به کربوکسی‌متیل سلولز در طی فرایند اسمز آب بیشتری از دست داده‌اند. همچنین به‌طور کلی، میزان جذب مواد جامد در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز بیشتر از نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان بوده است. با افزایش تعداد لایه پوشش خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز، غلظت محلول اسمزی از 30 به 60 درجه

بریکس و غلظت محلول پوشش از 0/5 به 1/5%، میزان جذب مواد جامد در طی فرایند اسمز در نمونه های پوشش داده شده افزایش می‌یابد. در مورد نمونه‌های پوشش داده شده با کاراگینان، با افزایش لایه و غلظت محلول پوشش از 0/5 به 1/5%، مقدار جذب مواد جامد به‌ترتیب، افزایش و کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت محلول اسمزی تا 45 درجه بریکس، میزان جذب مواد جامد افزایش یافته ولی افزایش بیشتر آن، تاثیر معنی‌داری بر آن ندارد. بالاخره این که در این پژوهش، امکان استفاده از دو نوع پوشش خوراکی تجاری، در بهبود فرایند اسمز سیب بررسی شد. نتیجه این است که نمی‌توان با قاطعیت گفت که یک نوع پوشش عملکرد فرایند اسمز را بهبود می‌بخشد یا نه؟ این موضوع کاملا بستگی به متغیرهای مختلف فرایند دارد. در پژوهش حاضر، تعداد 36 تیمار مختلف مورد بررسی قرار گرفت و بهترین تیمارها، نمونه پوشش داده شده یک لایه با کاراگینان 1% در ساکارز 60 % ونمونه‌های یک و دو لایه پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل سلولز 0/5% در ساکارز 45 % به‌دست آمد که تقریبا 50 درصد کارایی فرایند بالاتری نسبت به نمونه شاهد (بدون پوشش) داشتند.

جدول 2- میانگین درصد حذف آب، جذب مواد جامد و کارایی فرایند نمونه‌های سیب بدون پوشش و تیمارهای بهینه پوشش‌دهی شده با کاراگینان و کربوکسی‌متیل‌سلولز

نوع تیمار	غلظت محلول اسمزی (%)	WL (%)	SG (%)	Pr
بدون پوشش	30	10/744	3/159	3/412
بدون پوشش	45	25/886	6/468	4/019
بدون پوشش	60	29/462	7/218	4/135
%کاراگینان 1 لایه 1	30	8/09	5/13	1/57
%کربوکسی متیل سلولز 1 لایه 0/5	45	28/283	4/635	6/101
%کربوکسی متیل سلولز 2 لایه 0/5	60	28/663	4/647	6/201

منابع

Debeaufort, F., Quezada-Gallo J., 1998, Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A Review Critical Reviews. *Food Science and Nutrition*, 38(4): 299-313.

Dehghannya, J., Emam-Djomeh, Z., 2006. Osmotic Dehydration of Apple Slices with Carboxy-Methyl Cellulose Coting. *Drying Technology*, 24, 45-50.

Farzaneh1, P., Fatemian, H., Hosseini1 E., Asadi1, Gh. H., and Darvish, F., 2011, A Comparative Study on Drying and Coating of Osmotic Treated Apple Rings. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 2, 2.

Garcia, M., Díaz, R., Martínez, Y., Casariego, A., 2010, Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International* 43: 1656–1660.

Jalaee, F., Fazeil, A., Fatemain, H., Tavakolipour, H, 2010, Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating, *Food and Bioproducts Processing* 89, 367- 374.

Jena, S., Das, H., 2005, Modeling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. *Journal of Food Engineering*, 66, 425-432.

Khin, M. M., Zhou, W., 2005, Development in the Combined Treatment of Coating and Osmotic Dehydration of Food- A Review. *Journal of Food Engineering*, 1(1), Article 4.

Khin, M. M., Zhou, W., 2006, A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 84-95.

Khin, M. M., Zhou, W., 2007, Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of Food Engineering*, 81(3), 514-522.

Lazarides, H. N., Mitrakas, G. E., 2007, Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 171-177.

Lenart, A., Dabrowska, R., 1999, Khinetics of osmotic dehydration of apple with pectin coatings. *Drying technology An International*, 17(7), 1359- 1373.

Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F., 2005, Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 307- 316.

Matuska, M., Lenart, A., 2006, on the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 85-91.

Mundada, M., Singh Hathan, B. and Maske S, 2011, Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils. *Journal of Food Science*, 76(1).

Nieto, B. M., 2009, Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and Coatings.In: Edible Films and Coatings for Food Applications. Eds. Embuscado, E.E., Huber, K.C. *Springer*. P: 57-112.

Silva, M., Zaqueu Ernesto da Silva, Z. E, Mariani, V. C, Darche, S., 2012, Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. LWT - *Food Science and Technology* 45.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 680-690

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 690-680

Evaluating the influence of number of layers and concentration of carboxy-methyl cellulose and carrageenan coating on osmotic dehydration performance of *Golden delicious* apple

E. Sadati Gol-afshani[1], S. M. Jafari[2*], Sh. Beyraghi Toosib, M. Kashani- Nejada, M. Ganjeha

Received: 2016.02.03
Accepted: 2016.04.23

Introduction: Osmotic dehydration involves the partial removal of water by direct contact of a product with a hypertonic medium such as high concentration of sugar, salt or sugar-salt solutions. In this process, food pieces are immersed in a hypertonic solution. The natural membrane of food cells acts as a semipermeable layer so the water moves across the membrane from an area of high water potential (low solute concentration) to an area of low water potential (high solute concentration), meaning the driving force for water removal is the concentration gradient between the solution and the intracellular fluid. During osmotic dehydration, osmotic solute is absorbed by food materials and has undesirable effects on water removal, nutritional and organoleptic properties. Use of coating improves the osmotic processing. Best factor for evaluation of coating material is performance ratio (WL/SG). So a coating should reduce solid uptake without negative effects on water removal.

Materials and methods: The apples (*Golden delicious*) used in this study were purchased from a local market in Mashhad (Iran) and stored at 4-6°C before processing. The sucrose (99.9%, Fariman sugar company, Iran), carrageenan (kappa type, Negin Khorak Pars Company, Iran), carboxy methyl cellulose (sandros, Japan) and calcium chloride (Dr. Mojallali Lab., Iran) were also used. In this work, apple cubes were single and double coated in three concentrations (0.5, 1 and 1.5% w/w) of carboxy methyl cellulose (CMC) and carrageenan solution and dehydrated osmotically in different concentrations (30, 45 and 60˚ BX) of sucrose solutions.

Results and Discussion: The results of this study indicated that increasing coating solution concentration from 0.5% to 1.5% decreased water loss. Also the water loss increased when the number of coating layers and the concentration of osmotic solution increased (from 30 to 60 ˚ BX). Generally, water loss and solids uptake in the samples coated with carrageenan was higher and lower than their CMC counterparts, respectively. The solids uptake in the samples coated with CMC increased by increasing the number of layers, osmotic solution concentration (from 30 to 60˚BX) and coating solution concentration (from 0.5 to 1.5%). The solids uptake increased and decreased with increase in layer number and coating solution concentration (from 0.5% to 1.5%), respectively. Increasing the osmotic solution concentration up to 45 ˚ BX increased solids uptake but, more increasingly did not have a significant effect on it. Finally, it cannot be said strictly that one coating type would facilitate osmotic process or not. It depends on various process factors. Among the 36 treatments studied in this research, the single coated samples with 1% carrageenan treated in 60 ˚ BX sucrose solution and the single and double coated samples with 0.5% CMC treated in 45 ˚ BX sucrose solution were the best, as they had 50% higher performance ratio than control (uncoated) sample.

Key words: Edible coating, Solids uptake, Golden delicious apple, Performance ratio, Osmotic dehydration.

1, 2, 3 and 5. Former MSc Student, Associate Professor, Professor and Former PhD Student, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Academic Member, Food Processing Research Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR (Iranian Academic Center for Education, Culture and Research), Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: smjafari@gau.ac.ir)